Transport Canada / Transports Canada
Development / Développement

TP 4273E

TDC Mixed Flow Turbine Research Program 1981-82

Summary Report

Prepared for the
Transportation
Development Centre
Transport Canada

December 1982

CA1
DTC 801
82
T25
c.2

Subsidiary of
UNITED TECHNOLOGIES

TDC MIXED-FLOW TURBINE RESEARCH PROGRAM, 1981-82

SUMMARY REPORT

ENGINEERING REPORT NO. 1208

PREPARED FOR THE TRANSPORTATION DEVELOPMENT CENTRE

Library and Information Centre / Centre de documentation (CGSLA)
RECEIVED / REÇU LE
1983
Transport Canada / Transports Canada

PRATT & WHITNEY AIRCRAFT
DEPENDABLE ENGINES

Date of Report: 23 March 1983

Written by: _____ Chief, Turbine Aerodynamics
U. Okapuu

Approved by: _____ Manager, Aerodynamics Rotating Components
D. P. Kenny

PRATT & WHITNEY AIRCRAFT OF CANADA LTD.
Box 10, Longueuil, Quebec J4K 4X9 • Phone 514 677-9411

The contents of this report reflect the views of the contractor and not necessarily the official views or policies of the Transportation Development Centre.

E.R. # 1208

DISTRIBUTION

Messrs. H. C. Eatock/D. P. Kenny

W. H. D. Hanchet

G. Hardy/Project Managers

R. Sellers/L. R. Anderson/F. Huber - P&WA, GPD

H. H. Langshur/F. C. Desrochers/A. B. Newland/H. B. Dunthorne

S. Monaghan

R. E. Morris/M. D. Stoten/B. J. Palfreeman

A. Pfeffer/G. Pickett - P&WA, CE

C. B. Wrong/Library

CE Library (2)

GPD Library (2)

P&WC Library

PROJECT TEAM

The following members of the Turbine Research team have contributed to the material summarized in this report.

C. Dube	-	Analytical Technician
S. C. Kacker	-	Technical Consultant
R. I. Seto	-	Senior Aerodynamicist
M. Wilson	-	Technical Trainee
L. McLean	-	Aerodynamicist
P. de Neeve	-	Chief, Advanced Mechanical Analysis
G. Carrier	-	Structures Analyst
J. Gallacio	-	Structures Analyst
T. Smith	-	Aerodynamicist
M. A. Mueller	-	Aerodynamicist

The assistance received from Mr. D. Hanchet of the Transportation Development Centre is gratefully acknowledged.

REPORT DOCUMENTATION FORM

1 Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 4273E	4300	-

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Mixed Flow Turbine Research Program 1981/82	23 March 1983
	6. Performing Organization Report No. P&WC Eng'g Report No.1208
7 Author(s) U. Okapuu	8. Transport Canada File No D1455-112-8
9 Performing Organization Name and Address Pratt & Whitney Aircraft of Canada Ltd., P.O. Box 10, Longueuil, Que., J4K 4X9	10. DSS File No 09SD T8200-0-0539
	11 DSS or Transport Canada Contract No 08SD81-00080
12 Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) 1000 Sherbrooke Street West Montreal, Quebec	13 Type of Report and Period Covered Summary 1981/82
	14 Sponsoring Agency Code -
15 Supplementary Notes This report presents a summary of 1981-82 activities of the TDC Mixed-Flow Turbine Research Program	16 TDC Project Officer W.H.D. Hanchet

17 Abstract

The objectives of the 1981-82 period (Phase I) of this continuing research were: the aerodynamic design of the first experimental hardware, the structural analyses of alternative rotor disc shapes, and the design and fabrication of the aerodynamic test section.

The (analytical) design activities were successfully completed, and experimental hardware was procured, for testing in P&WC's Cold Flow Turbine Rig. Several alternative rotor structures were also analysed by a three-dimensional Finite Element technique, and promising configurations were identified.

Aerodynamic testing of this hardware is planned to start at the beginning of Phase II of this research program, in the Spring of 1983.

18 Key Words	19 Distribution Statement
Gas turbine, research, energy, efficiency, aerodynamics.	A limited number of copies is available from TDC.

20 Security Classification (of this report)	21 Security Classification (of this page)	22. No of Pages	23. Price
Nil	Nil	16	no charge

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1 N° du rapport Transports Canada	2 N° de l'étude — CDT	3 N° de catalogue du destinataire
TP 4273E	4300	-

4 Titre et sous-titre	5 Date du rapport
Étude de la turbine à écoulement mixte 1981-1982	23 mars 1983
	6 N° du rapport de l'organisme exécutant 1208

7 Auteur(s)	8 N° de dossier Transports Canada
U. Okapuu	D1455-112-8

9 Nom et adresse de l'organisme exécutant	10 N° de dossier — ASC
Pratt & Whitney Aircraft du Canada Ltée. Case postale 10 Longueuil, Québec J4K 4X9	09SD T8200-0-0539
	11 N° de contrat — ASC ou Transports Canada OSD81-00080

12 Nom et adresse de l'organisme parrain	13 Genre de rapport et période visée
Centre de Développement des Transports (CDT) 1000 ouest Sherbrooke, suite 2421 Montréal, Québec H3A 2R3	Résumé 1981-82
	14 Code de l'organisme parrain

15 Remarques additionnelles	16 Agent de projet — CDT
Ce rapport présente un résumé des activités du programme de recherche sur les turbines à écoulement mixte du CDT(Centre de développement des transports)pour 1981-82.	W.H.D. Hanchet

17 Resume

Les objectifs de la phase I de ce programme de recherche (1981-82) étaient: La conception aérodynamique des premiers éléments expérimentaux d'une turbine à écoulement mixte, l'analyse structurale de différents modèles du rotor, et la conception ainsi que la fabrication d'une section d'essai aérodynamique pour cette turbine..

La conception analytique fut complétée avec succès et les éléments expérimentaux furent achetés pour être expérimentés dans la salle d'essai à écoulement froid pour turbine de P&WC. Différentes solutions pour la structure du rotor de la turbine furent analysées en trois dimensions par la méthode des éléments finis et les configurations les plus prometteuses furent identifiées.

Les essais aérodynamiques de cette turbine devraient commencer avec le début de la phase II de ce programme de recherche au printemps 1983.

18 Mots-clés	19 Diffusion
Turbine à gaz, aérodynamique efficacité, énergie, recherche	Un nombre limité de copies sont disponibles au CDT

20 Classification de sécurité (de ce rapport)	21 Classification de sécurité (de cette page)	22 Nombre de pages	23 Prix
-	-	17	-

TABLE OF CONTENTS

		Page
1.	Introduction	1
2.	The Mixed-Flow Turbine	2
3.	Results from Phase I of Research	3
4.	Summary, and Future Program Plans	4
5.	References	5

LIST OF ILLUSTRATIONS

Fig. 1	Axial and Mixed-Flow GGT for 600 HP Turboprop	6
Fig. 2	Mixed-Flow Turbine Rotor	7
Fig. 3	Multi-Disc Rotor	8
Fig. 4	Mixed-Flow Turbine Rig	9

1. Introduction

A recent study of ways to improve the energy efficiency of small gas turbine propulsion engines, sponsored by the Transportation Development Centre of Transport Canada (TDC), concluded that the aerodynamic efficiency of the gas generator turbine has a first-order effect on the energy efficiency of such engines (1), and that considerable fuel savings could be effected by research in this area.

This conclusion caused TDC to sponsor the very successful P&WC Gas Generator Turbine Research Program which in the 1978-1981 time period produced a number of design rules and devices for the enhancement of axial turbine efficiency (2, 3, 4). Carried out as part of this research, preliminary design studies of Radial and Mixed-Flow turbines identified the latter turbine type as having the potential for a very considerable improvement over its axial counterpart.

In 1981, therefore, TDC undertook to sponsor a program of research on Mixed-Flow turbines. The present report summarizes the results of the first phase of this work, spanning a time period of 1 September 1981 to 30 September 1982.

2. The Mixed-Flow Turbine

In a conventional axial turbine the flow enters and exits the rotor at essentially the same radius. In a Mixed-Flow Turbine (MFT) there is also a reduction in streamline radius within the rotor. The MFT geometry permits its rotor flow passages to be substantially larger (than in the equivalent Axial Turbine), for the same rotor life. The resulting lower relative flow velocities create lower pressure losses within the rotor, and therefore higher turbine efficiency.

Fig. 1 compares the shapes and predicted efficiencies of the Axial and MF turbines for the same application, as a gas generator turbine for a 600 HP turboprop engine. The conservatively estimated improvement of 4.3% in engine specific fuel consumption, due to the MFT, can add up to rather impressive fuel savings in future small aero engines. This subject is discussed more fully in (5). Fig. 2 is a photograph of an experimental rotor designed and fabricated during this report period.

3. Results from Phase I of Research

This first phase of the program consisted of the aerodynamic design of the first experimental MFT, structural analyses of alternative rotor disc shapes, and the design and fabrication of a test section, for the verification of aerodynamic performance of the turbines in P&WC's Cold Flow Turbine Rig.

Owing to its complexity of shape, the MFT had to be designed with tools specifically developed for this purpose. While further development of computer programs is clearly called for, the first rotor design, shown in Fig. 2, appears to be of promising shape. It will be tested early in Phase II of the MFT research program, in the Spring of 1983.

The shape of the MFT rotor disc presents an interesting problem of structural optimization. A solid disc contains more material than is necessary for the support of rotor blades. In fact, much of this material is dead weight, increasing the stresses at the bore of the disc needlessly. Several disc concepts were structurally optimized during this research period. Fig. 3 shows the finite element network used to analyse one of the most promising rotor shapes. This work will continue into Phase II of this program.

The major task in Phase II is the demonstration of the predicted aerodynamic efficiency of the MFT. To that end, a test section was designed and fabricated, for the testing of the turbine in P&WC's existing Cold Flow Turbine Rig. The test rig, shown in Fig. 4, is now ready for testing.

The results of Phase I of this research are described at greater length in the Summary Technical Report for 1981-82 (6). Interim Reports 1, 2, 3 (7, 8, 9) discuss findings and conclusions in considerable depth.

4. Summary, and Future Program Plans

The Mixed-Flow Turbine looks even more promising now, at the completion of the current (1981-82) Phase I of this research project. The resulting potential gains in energy efficiency, not insignificant by any standard, are discussed at some length in the Proposal for Phase II of this research program (5).

The final acceptance of the MFT concept, for aero gas turbine engines, will depend on its demonstrated aerodynamic performance and life. Testing scheduled for Spring 1983 will provide a clear indication of the aerodynamic efficiency attainable. As to durability (life), a final demonstration must be preceded by further structural optimization of the rotor, a bonding study for the rotor hub, and spin pit verification of the results of these studies. Altogether, a five to six year program is visualized for the full development of this promising concept. Thanks to the positive results from the 1978-81 preliminary studies and the 1981-82 Phase I of this program, plans have been laid to take the development of the Mixed-Flow Turbine to its logical conclusion (5).

5. References

1. Harvey, R.A., Palfreeman, B.J., and Morris, R.E.; Energy Efficiency and Development - Final Report (Sponsored under contract by the Transportation Development Agency, October 1977); Contract No. OST76-00090.

2. Okapuu, U; TDC Gas Generator Turbine Research Program - Executive Summary, 1978-79; Engineering Report No. 1149, 17 August 1979. (TP2330)

3. Okapuu, U; TDC Gas Generator Turbine Research Program - Executive Summary, 1979-80; Engineering Report No. 1135, 24 Nov. 1980. (TP2685)

4. Okapuu, U; TDC Gas Generator Turbine Research Program - Executive Summary, 1980-81; Engineering Report No. 1150, 9 July 1981. (TP3149E)

5. Mueller, M.A.; Mixed-Flow Turbine Research Program - Phase II Proposal; ENG-R-246, November 1982.

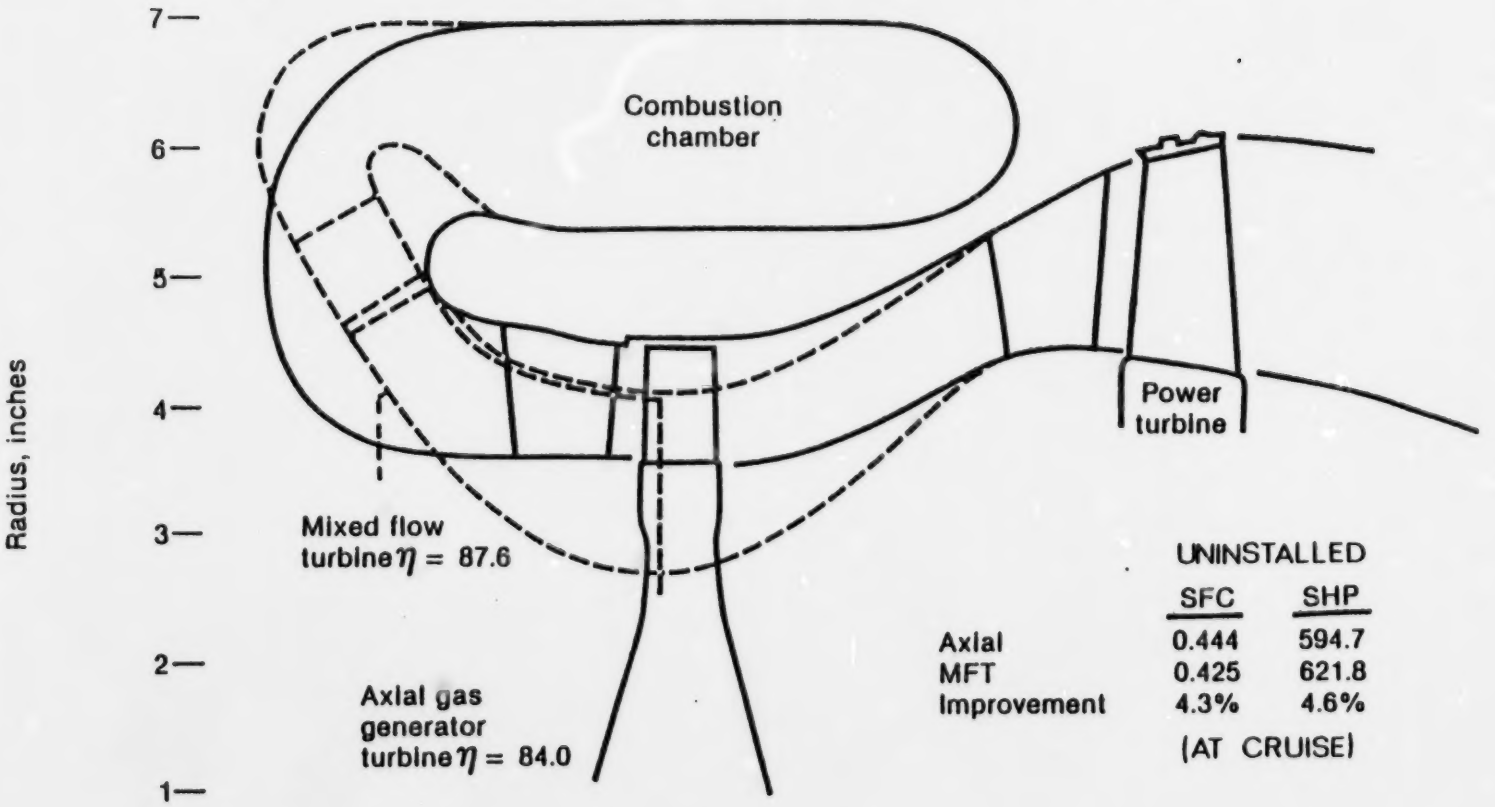
6. Mueller, M.A.; Mixed-Flow Turbine Research Program - Technical Report, 1981-82; Engineering Report No. 1180, 25 Nov. 1982.

7. Seto, R.I.; Aerodynamic Design of a Mixed Flow Turbine; TDC Mixed Flow Turbine Research Program Interim Technical Report No. 1, Engineering Report No. 1178, August 1982.

8. Carrier, G. and de Neeve, P.F.W.; Progress Report on Mechanical Design of Mixed Flow Turbine; TDC Mixed Flow Turbine Research Program Interim Technical Report No.2, Engineering Report No. 1176, July 1982.

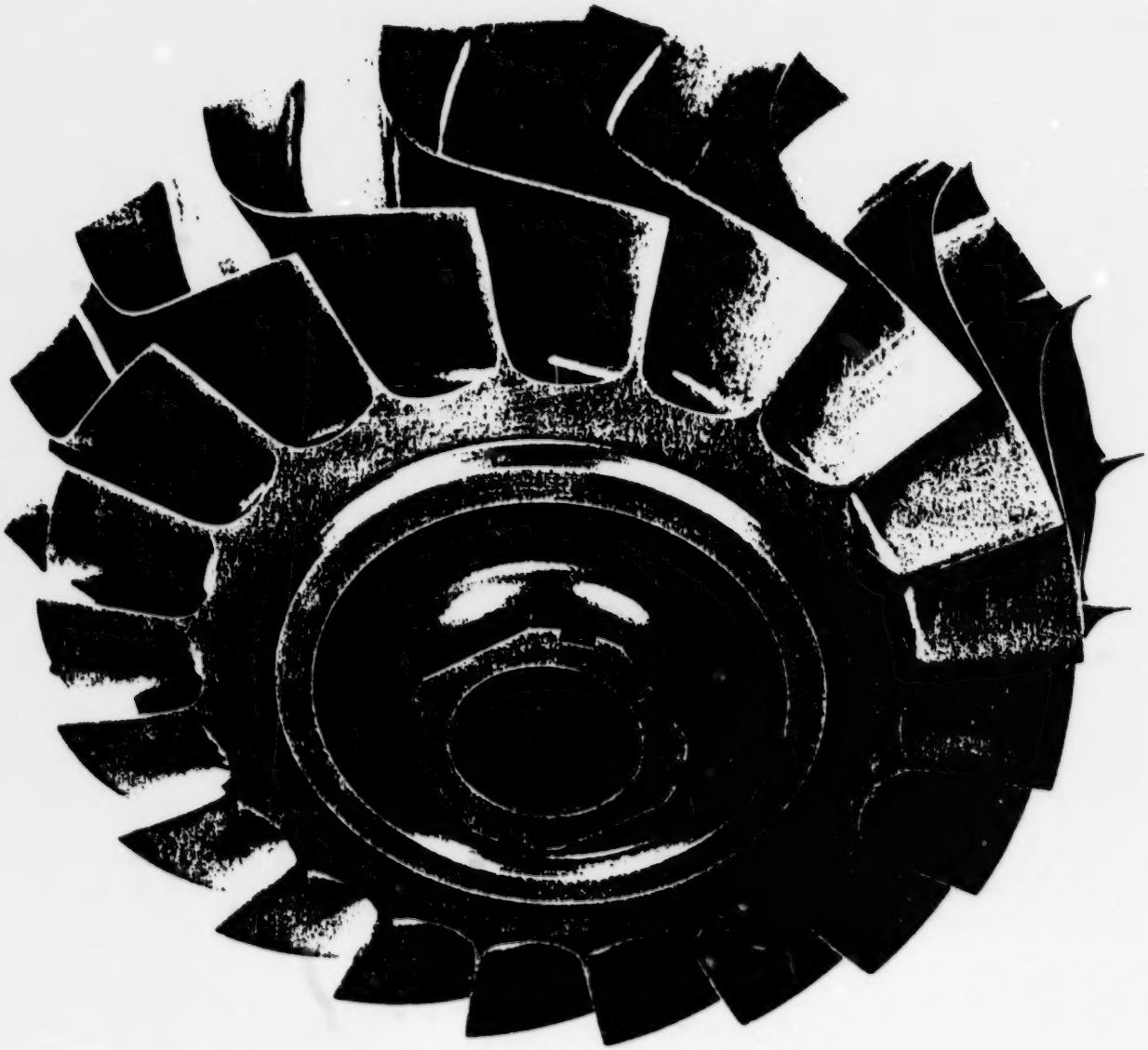
9. Seto, R.I.; Mixed Flow Turbine Experimental Test Facilities; TDC Mixed Flow Turbine Research Program Interim Technical Report No. 3, Engineering Report No. 1179, August 1982.

mg



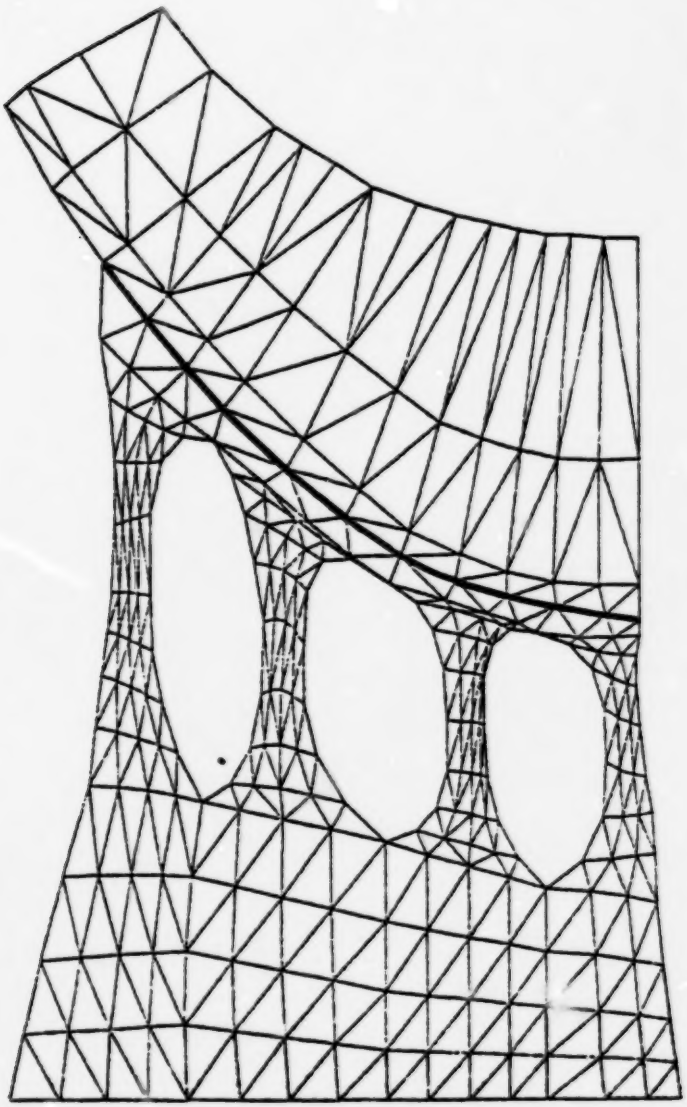
AXIAL AND MIXED-FLOW GGT FOR 600 HP TURBOPROP

FIG. 1



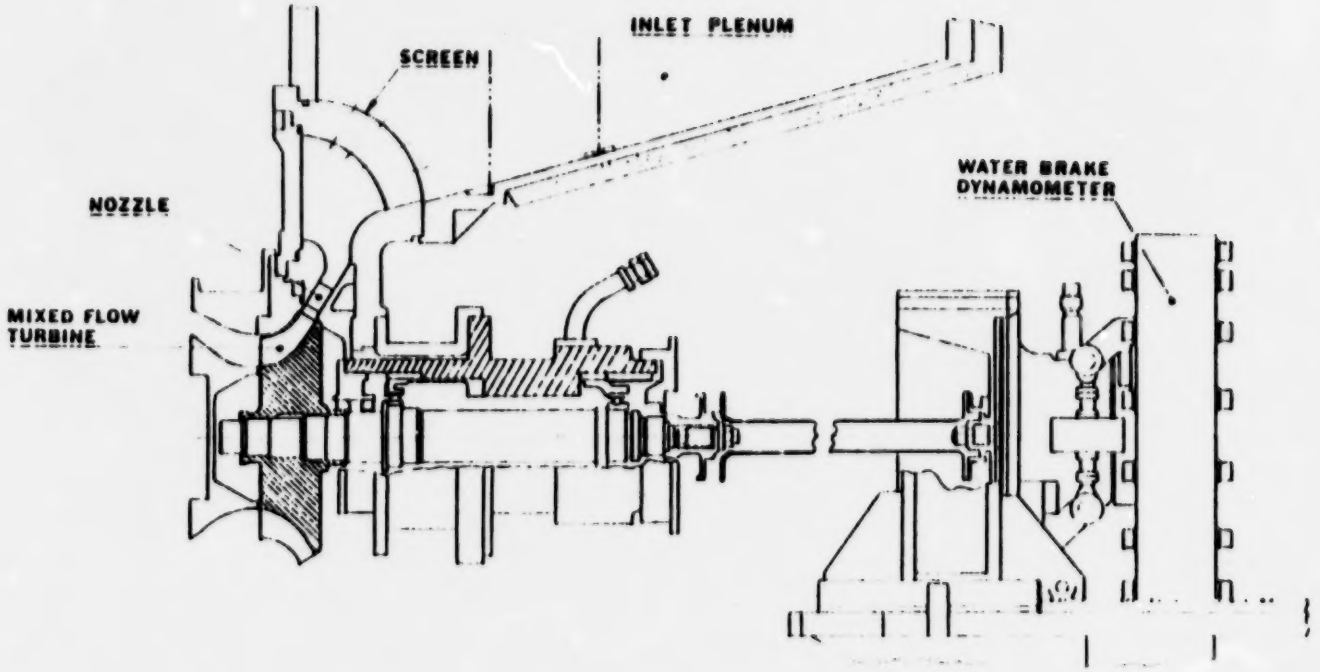
MIXED-FLOW TURBINE ROTOR

FIG. 2



MULTI-DISC ROTOR
FINITE ELEMENT NETWORK FOR STRESS ANALYSIS

FIG.3



Mixed-flow turbine rig

FIG. 4

Centre de développement
des transports
1000 o., rue Sherbrooke
Suite 2421
Montréal, Québec
H3A 2R3
Télex 05-24713

Transportation
Development Centre
1000 Sherbrooke St. W.
Suite 2421
Montreal, Quebec
H3A 2R3
Telex 05-24713

Transports Canada
Transport Canada

Développement
Development

TP 4273F

Étude de la turbine à écoulement mixte 1981-82

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement
des transports

Transports Canada

décembre 1982

CA1
DTC 801
82
T25Z
c.2

Subsidiary of UNITED TECHNOLOGIES

TURBINE À ÉCOULEMENT MIXTE

PROGRAMME DE RECHERCHE 1981-1982

RAPPORT SOMMAIRE

RAPPORT DE L'INGÉNIERIE NO. 1208

Library and Information Centre / Centre de Documentation (GSLA)
RECEIVED - REÇU LE
JUN 14 1983
Transport Canada / Transports Canada

PRÉPARÉ POUR LE CENTRE DE
DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS

DATE: 23 mars 1983

ÉCRIT PAR: _____ U. Ökapuu — Chef, Aérodynamique Turbines

APPROUVÉ PAR: _____ D.P. Kenny — Directeur, Aérodynamique Composantes Rotatives

PRATT & WHITNEY AIRCRAFT OF CANADA LTD.

Box 10, Longueuil, Quebec J4K 4X9 • Phone 514 677-9411

R.I. # 1208

Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne correspondent pas nécessairement aux opinions ou aux vues du Centre de développement des transports.

R.I. # 1208

LISTE DE DISTRIBUTION

Messieurs: H.C. Eatock/D.P. Kenny

W.H.D. Hanchet

G. Hardy/Directeurs de projet

R. Sellers/L.R. Anderson/F. Huber - PWA, DPG

H.H. Langshur/F.C. Desrochers/A.B. Newland/H.B. Dunthorne

S. Monaghan

R.E. Morris/M.D. Stoten/B.J. Palfreeman

A. Pfeffer/G. Pickett - PWA, CE

C.B. Wrong/Bibliothèque

Bibliothèque CE

Bibliothèque DPG

Bibliothèque P&WC

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Les membres suivants de l'équipe de recherche sur les turbines ont contribué au contenu de ce rapport.

C. Dubé	- Technicienne Analyste
S.C. Kacker	- Consultant Technique
R.I. Seto	- Aérodynamicien Principal
M. Wilson	- Technicienne Stagiaire
L. McLean	- Aérodynamicien
P. de Neeve	- Chef, Analyse Mécanique Avancée
G. Carrier	- Analyste de Structures
J. Gallacio	- Analyste de Structures
T. Smith	- Aérodynamicien
M.A. Mueller	- Aérodynamicien

L'assistance reçue de M.D. Hanchet du Centre de développement des transports fut grandement appréciée.

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 4273E	4300	-

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Étude de la turbine à écoulement mixte 1981-1982	23 mars 1983
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant: 1208

7. Auteur(s)	8. N° de dossier Transports Canada
U. Okapuu	D1455-112-8

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
Pratt & Whitney Aircraft du Canada Ltée. Case postale 10 Longueuil, Québec J4K 4X9	09SD T8200-0-0539
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada: 0SD81-00080

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de Développement des Transports (CDT) 1000 ouest Sherbrooke, suite 2421 Montréal, Québec H3A 2R3	Résumé 1981-82
	14. Code de l'organisme parrain

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Ce rapport présente un résumé des activités du programme de recherche sur les turbines à écoulement mixte du CDT(Centre de développement des transports)pour 1981-82.	W.H.D. Hanchet

17. Résumé

Les objectifs de la phase I de ce programme de recherche (1981-82) étaient: La conception aérodynamique des premiers éléments expérimentaux d'une turbine à écoulement mixte, l'analyse structurale de différents modèles du rotor, et la conception ainsi que la fabrication d'une section d'essai aérodynamique pour cette turbine.

La conception analytique fut complétée avec succès et les éléments expérimentaux furent achetés pour être expérimentés dans la salle d'essai à écoulement froid pour turbine de P&WC. Différentes solutions pour la structure du rotor de la turbine furent analysées en trois dimensions par la méthode des éléments finis et les configurations les plus prometteuses furent identifiées.

Les essais aérodynamiques de cette turbine devraient commencer avec le début de la phase II de ce programme de recherche au printemps 1983.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Turbine à gaz, aérodynamique efficacité, énergie, recherche	Un nombre limité de copies sont disponibles au CDT

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
-	-	17	-

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 4273E	4300	-

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Mixed Flow Turbine Research Program 1981/82	23 March 1983
	6. Performing Organization Report No. P&WC Eng'g Report No.1208
7. Author(s) U. Okapuu	8. Transport Canada File No. D1455-112-8
9. Performing Organization Name and Address Pratt & Whitney Aircraft of Canada Ltd., P.O. Box 10, Longueuil, Que., J4K 4X9	10. DSS File No. 09SD T8200-0-0539
	11. DSS or Transport Canada Contract No. 0SD81-00080
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) 1000 Sherbrooke Street West Montreal, Quebec	13. Type of Report and Period Covered Summary 1981/82
	14. Sponsoring Agency Code -
15. Supplementary Notes This report presents a summary of 1981-82 activities of the TDC Mixed-Flow Turbine Research Program	16. TDC Project Officer W.H.D. Hanchet

17. Abstract

The objectives of the 1981-82 period (Phase I) of this continuing research were: the aerodynamic design of the first experimental hardware, the structural analyses of alternative rotor disc shapes, and the design and fabrication of the aerodynamic test section.

The (analytical) design activities were successfully completed, and experimental hardware was procured, for testing in P&WC's Cold Flow Turbine Rig. Several alternative rotor structures were also analysed by a three-dimensional Finite Element technique, and promising configurations were identified.

Aerodynamic testing of this hardware is planned to start at the beginning of Phase II of this research program, in the Spring of 1983.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Gas turbine, research, energy, efficiency, aerodynamics.	A limited number of copies is available from TDC.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Nil	Nil	16	no charge

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1.0	INTRODUCTION	1
2.0	LA TURBINE À ÉCOULEMENT MIXTE	2
3.0	RÉSULTATS DES TRAVAUX DE LA PHASE I	3
4.0	CONCLUSIONS ET PROGRAMMES À PRÉVOIR	4
5.0	BIBLIOGRAPHIE	5

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 - Géométrie comparée des turbines à écoulement axial et mixte, pour turbopropulseur de 600 Hp.	6
Figure 2 - Premier modèle de rotor.	7
Figure 3 - Disques de rotor à pattes multiples.	8
Figure 4 - Banc d'essai de la turbine à écoulement mixte	9

1.0 INTRODUCTION

Une étude conduite récemment à la demande du Centre de développement des transports (CDT), Transports Canada, sur les moyens d'améliorer le rendement énergétique des turbines à gaz (1) a trouvé que ce rendement est tributaire au premier chef du rendement aérodynamique de la turbine du générateur de gaz et que la recherche dans ce domaine permettrait de réaliser des économies d'énergie fort intéressantes.

Encouragé par cette étude, le CDT a parrainé le programme de recherche sur les turbines du générateur de gaz lancé par P&WC (Gas Generator Turbine Research Program) et qui, entre 1978 et 1981, a réussi à dégager un certain nombre de critères et de schémas visant la conception de turbines à écoulement axial, à rendement amélioré (2,3,4). Faisant partie dudit programme, une étude préliminaire sur les turbines à écoulement centrifuge et mixte a déterminé que la turbine à écoulement mixte permettrait d'accroître le rendement à un degré beaucoup plus élevé que ne le ferait la variante à écoulement axial.

En 1981, le CDT décida de parrainer un programme de recherche sur les turbines à écoulement mixte. Ce sont les travaux de la première phase de ce programme qui seront récapitulés ici, phase qui s'étend du 1er septembre 1981 au 30 septembre 1982.

2.0 LA TURBINE À ÉCOULEMENT MIXTE

Dans une turbine classique, à écoulement axial, le trajet du fluide de part et d'autre du rotor de la turbine se produit à une distance, ou rayon d'écoulement, à peu près égale par rapport à l'axe. Dans le cas de la turbine à écoulement mixte, il existe, en outre, une réduction de ce rayon qui a lieu au moment où le fluide traverse le rotor. La turbine à écoulement mixte autorise des passages d'écoulement qui sont de section notablement plus grande que dans le cas d'un écoulement axial, pour une durée de vie du rotor identique. Il en résulte une vitesse d'écoulement relativement plus faible qui réduit les pertes de charge dans le rotor, d'où un rendement accru pour ce dernier.

La figure 1 compare la géométrie respective des turbines à écoulement axial et mixte, et montre les rendements respectifs prévus pour une application identique, à savoir celle de fonctionner comme turbine du générateur de gaz d'un turbopropulseur de 600 Hp. Un estimé conservateur de l'amélioration de la consommation spécifique prévue pour la turbine à écoulement mixte est de 4.3%. Ceci peut se traduire en d'importantes économies de carburant dans les cas où elles seront installées sur des moteurs de petites dimensions. Ce sujet est traité plus à fond dans le document (5) de la bibliographie. La figure 2 montre la photo d'un rotor expérimental conçu et fabriqué dans le cadre des travaux du présent rapport.

3.0 RÉSULTATS DES TRAVAUX DE LA PHASE I

Les travaux considérés ont porté sur l'étude aérodynamique de la première turbine expérimental, le calcul de la structure des divers modèles de disques du rotor envisagés, l'étude et la réalisation d'un étage de turbine. Cette turbine, installée sur le banc d'essai à écoulement froid de P&WC, servira à déterminer le rendement aérodynamique de ce concept.

De forme complexe, la turbine à écoulement mixte a nécessité pour son développement un matériel spécial. Le premier modèle étudié, illustré à la figure 2, semble très prometteur même si les programmes informatiques utilisés pour sa conception ont nettement besoin d'être étudiés plus à fond. Les essais de ce modèle auront lieu au début de la phase II du programme de recherche, c'est-à-dire au printemps de 1983.

La forme même du rotor offre un cas intéressant de calcul optimal d'une structure. En effet, le contenu massique d'un disque plein est plus que suffisant pour résister aux sollicitations des aubages. En réalité, une grande partie de ce contenu massique représente un poids mort qui ne fait qu'ajouter inutilement aux contraintes sur le centre de la roue (moyeu). La recherche a permis d'imaginer un disque muni de plusieurs pattes dotées d'une structure optimale. La figure 3 montre le réseau à mailles triangulaires construit pour calculer, par la méthode des éléments finis, la structure d'un des rotors les plus prometteurs. La poursuite de ce travail est prévue dans la phase II des travaux.

L'essentiel de cette phase II consistera à confirmer le rendement aérodynamique théorique de la turbine à écoulement mixte. Dans ce but, un étage de turbine a été étudié et réalisé pour être monté sur le banc d'essai de P&WC illustré à la figure 4.

Les travaux de la phase I sont traités plus à fond dans le Rapport Technique 1981-1982, document 6 de la bibliographie, tandis que les rapports provisoires 1, 2 et 3 (7, 8, 9) reprennent in extenso les conclusions et les constatations faites à l'issue de ces travaux.

4.0 CONCLUSIONS ET PROGRAMMES À PRÉVOIR

L'idée de la turbine à écoulement mixte apparaît encore plus intéressante, maintenant que la phase I des travaux (1981-1982) est achevée. L'accroissement prévisible dans le rendement énergétique est loin d'être négligeable, par rapport à quelque critère que ce soit. Il en est d'ailleurs largement question dans la demande d'autorisation relative à la phase II des travaux (5).

L'avenir du concept de la turbine à écoulement mixte, appliqué aux turbines à gaz d'aviation, dépendra en définitive du résultat des travaux sur la détermination de son rendement aérodynamique et de sa durabilité, prévus pour le printemps de 1983. On saura alors le rendement réel qu'il sera possible d'obtenir. Quant à la durée de vie, l'essai définitif permettant de la déterminer devra être précédé de calculs plus poussés de la structure du rotor, d'une étude de la solidité du moyeu de ce rotor et d'une vérification expérimentale de ces calculs par la mise en marche de la turbine dans une fosse d'essai centrifuge. Pour que ce concept prometteur puisse atteindre le stade de la réalisation, il faut prévoir un programme de développement s'étendant sur cinq ou six ans. Grâce aux bons résultats obtenus des travaux préliminaires (1978-1981) et de la phase I (1981-1982), des plans ont pu être établis visant à mener le projet de la turbine à écoulement mixte à bon terme (5).

5.0 BIBLIOGRAPHIE

1. Harvey, R.A., Palfreeman, B.J. et Morris, R.E.; Energy Efficiency and Development - Rapport final (Marché du Centre de développement des transports No. OST76-00090, octobre 1977).

2. Okapuu, U.; TDC Gas Generator Turbine Research Program - Sommaire administratif, 1978-1979; Rapport technique No. 1149 du 17 août 1979, TP 2330.

3. Okapuu, U.; TDC Gas Generator Turbine Research Program - Sommaire administratif 1979-1980; Rapport technique No. 1135, 24 novembre 1980, TP 2685.

4. Okapuu, U.; TDC Gas Generator Turbine Research Program - Sommaire administratif 1980-1981; Rapport technique No. 1150, 9 juillet 1981, TP 3149.

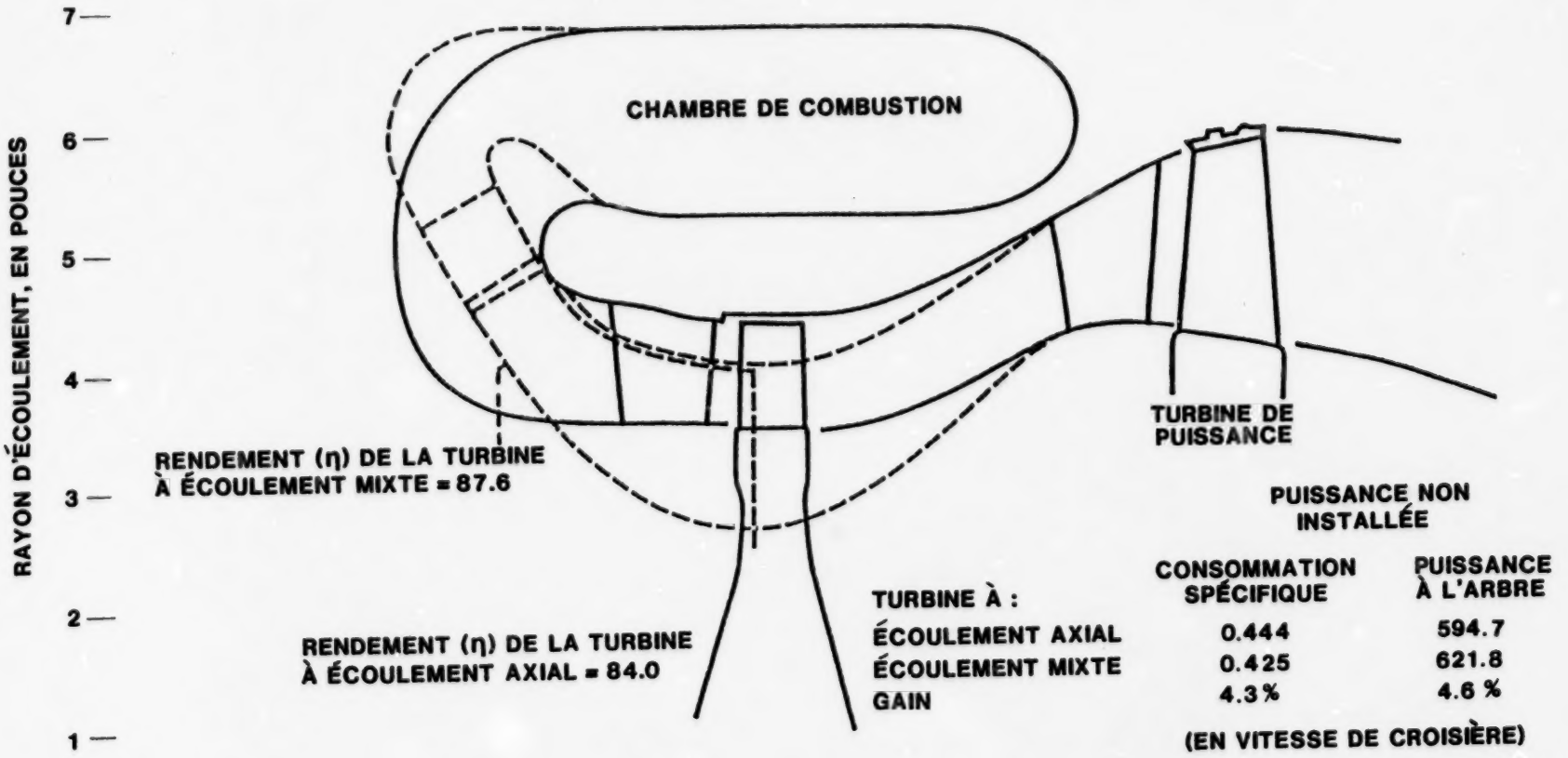
5. Mueller, M.A.; Mixed-Flow Turbine Research Program - Demande d'autorisation phase II. P&WC Rapport de l'ingénierie No. R-246, novembre 1982.

6. Mueller, M.A.; Mixed-Flow Turbine Research Program - Rapport technique 1981-1982. P&WC Rapport de l'ingénierie No. 1180, 25 novembre 1982.

7. Seto, R.I.; Aerodynamic Design of a Mixed-Flow Turbine, Rapport technique provisoire au CDT, compte rendu No. 1. P&WC Rapport de l'ingénierie No. 1178, août 1982.

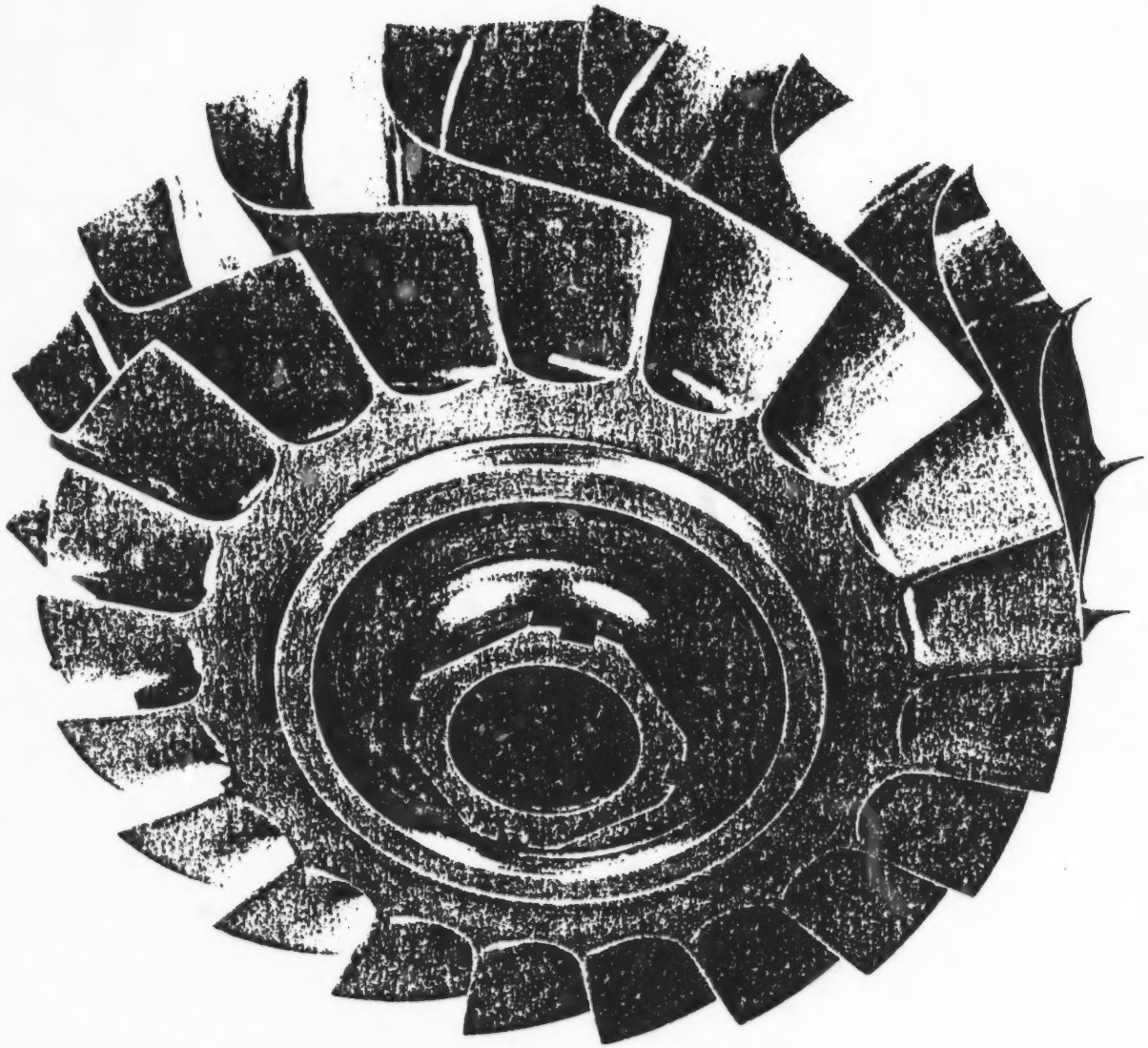
8. Carrier, G. et de Neeve, P.F.W.; Progress Report on Mechanical Design of Mixed-Flow Turbine, Rapport technique provisoire au CDT, compte rendu No. 2. P&WC Rapport de l'ingénierie No. 1176, juillet 1982.

9. Seto, R.I.; Mixed-Flow Turbine Experimental Test Facilities, Rapport technique provisoire au CDT, compte rendu No. 3, P&WC Rapport de l'ingénierie No. 1179, août 1982.



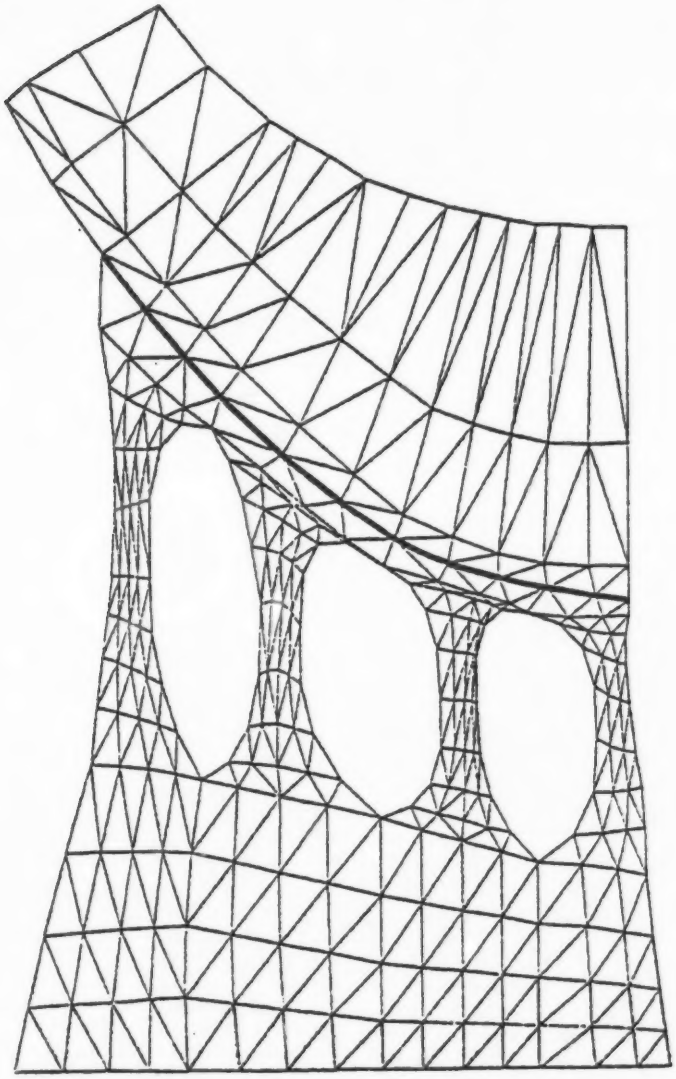
GÉOMÉTRIE COMPARÉE DES TURBINES À ÉCOULEMENT AXIAL ET MIXTE, POUR TURBOPROPULSEUR DE 600 Hp

FIG. 1



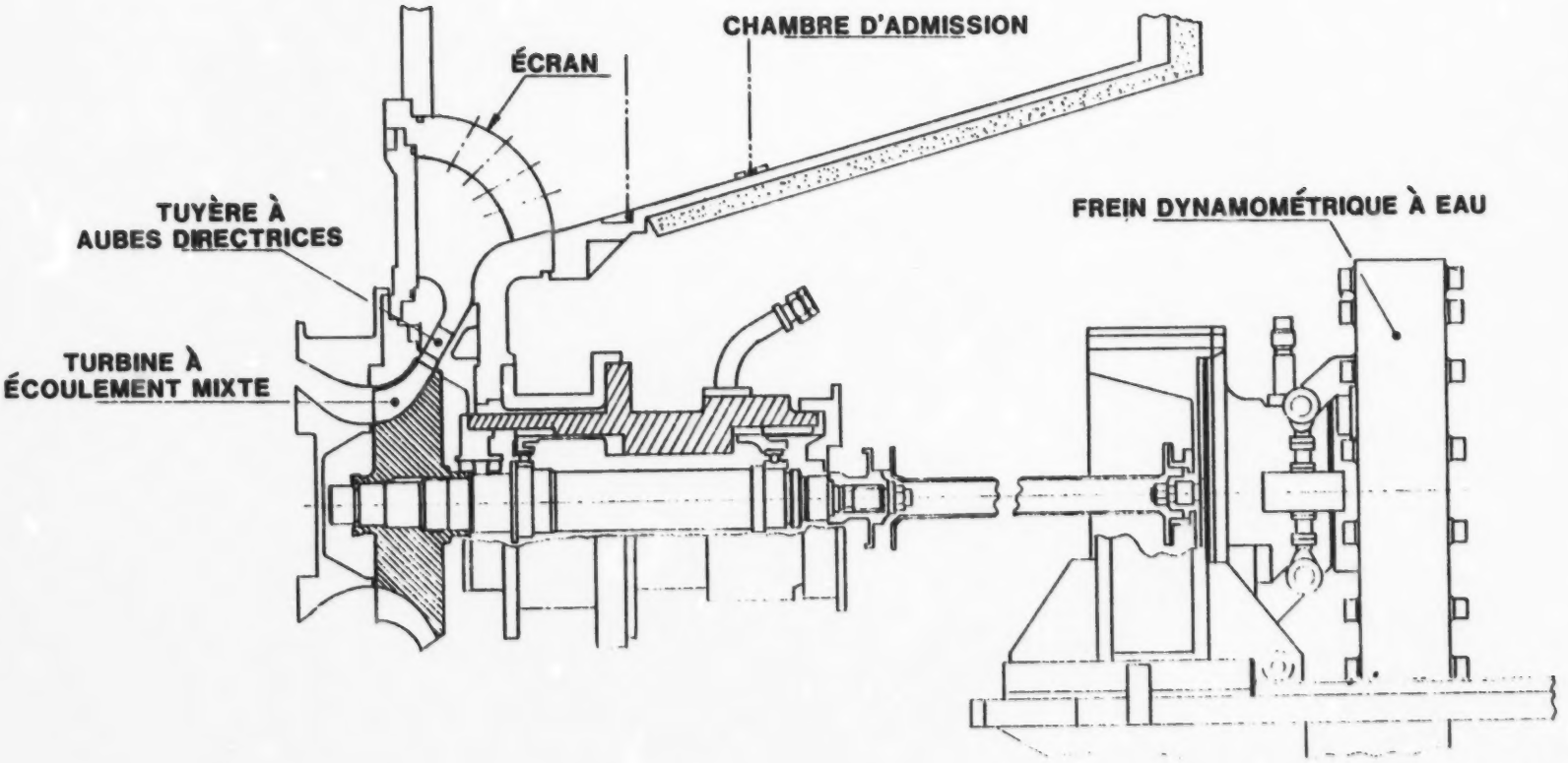
PREMIER MODÈLE DE ROTOR À ÉCOULEMENT MIXTE

FIG. 2



RÉSEAU À MAILLES TRIANGULAIRES CONSTRUIT POUR CALCULER, PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS, LA STRUCTURE D'UN DISQUE DE ROTOR À PATTES MULTIPLES

FIG. 3



BANC D'ESSAI DE LA TURBINE À ÉCOULEMENT MIXTE

FIG. 4

Centre de développement
des transports
1000 o., rue Sherbrooke
Suite 2421
Montréal, Québec
H3A 2R3
Télex 05-24713

Transportation
Development Centre
1000 Sherbrooke St. W.
Suite 2421
Montreal, Quebec
H3A 2R3
Telex 05-24713

POOR

QUALITY

ORIGINAL